

平成１７年度（財）港湾空港建設技術サービスセンター
研究開発助成報告書

助成番号：平成１８年１月１６日付第０５－３号

助成開発項目：（３）品質確保、環境保全、労働安全衛生に関するもの

Xバンドレーダによる砂浜海岸の侵食モニタリング

平成１９年４月

筑波大学大学院システム情報工学研究科准教授

武若 聡

（独）港湾空港技術研究所水工部・漂砂研究室室長

栗山 善昭

目 次

1. はじめに -----	1
2. 観測サイトと観測方法 -----	3
3. 年間を通じた観測結果 -----	7
4. 暴浪イベントによる大規模海岸侵食 -----	15
5. 研究のまとめと成果の応用 -----	25
研究成果 -----	27

1. はじめに

日本の多くの砂浜海岸(自然海岸, 人工海浜)では慢性的な侵食が問題となっている。砂浜の保全を考える際には, 広範囲の地形についての観測資料が必要であり, 砂浜の維持管理には, 日頃から担当者がその地形と変動状況を監視する必要がある。しかしながら, 通常の測量ではコスト面の制約から, 時間的・空間的に限られた地形データしか入手できない。深浅測量は, 計測点では正確なデータが得られるものの, 広範囲, また, 高頻度にデータを収集するためのコストは大きく, また, 荒天時のデータを取得するのは困難である。この研究開発では, 比較的安価に運転可能な船舶用の X バンドレーダを用い, リモートセンシングで広域(約 6 km の観測範囲)の海岸地形(バーの状況), 前浜地形(汀線位置, 断面形状, 前浜勾配)と侵食を常時観測し, これから砂浜海岸の状況を常にモニタリング追跡することについて検討した。

本研究は, 既存のマリンレーダを応用したもので, 従来では取得の難しかった広域の砂浜海岸地形データを連続的に収集できる点が技術上の特徴である。

先ず, 年間を通じた観測結果を示し, 海岸の年間を通じた変動状況を説明する。汀線形状とバー地形を X バンドレーダの観測結果から連続的に読み取り, これらの変動特性(汀線とバーの平均存在位置, 形状の空間変動強度, 形状の沿岸方向移動)を解析し, 汀線とバー形状の沿岸方向移動について調べた。静穏な状態が続くと海浜形状は複雑化し, 荒天時にはこれが一様化する, いわゆるビーチサイクルが確認された。平均汀線位置は季節的に変化していたのに対して, 汀線形状は入射波浪の大小に応じて変動していた。汀線とバー形状の沿岸方向移動を調べ, 汀線の波状形状が沿岸方向に移動していること, その移動方向が入射波浪の波下に向いていること, 高波浪により海岸地形が一様化すると移動状況が不鮮明になること, 高波浪により海岸地形が一様化しても沿岸方向移動が継続する場合があることなどを見出した。以上のことは砂浜海岸の状況を追跡し, その挙動を理解するのに資する。

汀線形状, バーの沿岸分布形状など海岸地形の特徴的な部分が沿岸方向に伝播する現象については日本と世界の各地における実態とその伝播速度に関する報告がある。日本の海岸では, 侵食域・堆積域が沿岸方向に伝播し, その速度が 1 ~ 2 m/day (年平均値)のオーダーであることが報告されているが, この速さの成因が特定されるには至っていない。外国の海岸では, 例えば, 4 年間にわたるビデオ観測の結果から, カスプ状地形と共に存在するリップチャンネルの位置, これらの沿岸方向移動, 移動速度が波浪の入射エネルギーと方向と関連性があることが報告されている。この

ように、海岸地形が沿岸方向に移動することは普遍的に見られる現象であるが、その移動メカニズムについては未知な点が多く残されている。工学的な観点からは、侵食域の沿岸方向伝播速度を知ることができれば、侵食対策のスケジュール、規模などをより合理的に定めることが期待できる。

本研究では、鹿島灘の波崎海岸における汀線形状とバー地形を X バンドレーダで連続的に観測した結果を解析し、これらの変動特性(汀線とバーの平均存在位置、形状の空間変動強度、形状の沿岸方向移動)を説明し、汀線とバー形状の沿岸方向移動について議論する。

次に、観測期間中の 2006 年 10 月にあった暴浪イベントについて説明する。この時期に大型の低気圧が太平洋沿岸を通過し、既往最大の潮位上昇を伴う高波浪が来襲した。このイベントが発生するまでの数十年間は後浜と考えていた領域に大規模な侵食が見られ、鹿島灘南部ではこれまでに報告のなかった浜崖の発生が随所に見られた。観測海域では潮位が高い時間が継続し、その間に大規模な侵食が広範囲に生じた。レーダを設置した栈橋付近では、平均で 30 m 程度の汀線後退があり、前浜の地盤高は 2 m 程低下した。栈橋とその周辺で収集している地形データから判断すると、この暴浪イベントにより、20 年間にわたり堆積してきた土砂がほぼ失われた。ここでは、航空レーザ地形計測データと X バンドレーダ観測により取得された地形データを用い、侵食状況の把握とそのプロセスを考察する。今後、数年から数十年をかけて海浜は回復・堆積すると期待されるが、その初期の状況をレーダ観測により捉えることに成功した。今後は、地形の変動を追跡し堆積域が形成され、海浜が回復するプロセスを調べることになる。

最後に研究のとりまとめを行い、観測方法、年間を通じて得られた観測結果、望楼イベントによる急激な海岸侵食についてそれぞれ概観する。その後、本研究で得られた成果を砂浜侵食のモニタリング、監視にどのように適用するかを述べる。

2. 観測サイトと観測方法

(1) 観測サイト

レーダ観測は(独法)港湾空港技術研究所の波崎観測栈橋 HORS で行った。後浜にある研究施設の屋上にレーダ(日本無線(株)JMA-3925-9)を設置した。X バンドレーダ観測は、茨城県波崎町(2005 年 8 月より神栖市)にある港湾空港技術研究所の波崎観測栈橋 HORS で行った。この海岸の延長は約 17 km であり、北端に鹿島港岸壁、南端に銚子漁港と利根川河口がある。観測栈橋は、海岸の北端から約 4 km の地点にある。後浜にある研究施設の屋上にレーダを設置した(図 2-1, 図 2-3)。

図 2-2 にレーダと栈橋の位置、本論で用いる座標系を示す。栈橋上に座標の原点、沿岸方向に x 軸、岸沖方向に y 軸をとった。

(2) X バンドレーダと観測方法

X バンドレーダはアンテナが回転しながらマイクロ波を海面に向かって照射し、その反射(エコー)を捉える。エコーは波峰から強く発生することが経験的に知られており、エコーデータを画像表示(レーダ画像)することにより波浪場の状況を知ることができる。X バンドレーダ(JMA-3925-9 Japan Radio Co. Ltd)はマイクロ波(3 cm wavelength, transmitting power 25 kw, HH-polarization, beamwidth: 0.8 ° in horizontal and 25 ° vertical)を海面に向かって照射し、その反射(エコー)を捉える。エコーは波峰から強く発生することが経験的に知られており、エコーデータを画像表示することにより波浪場の状況を知ることができる。

図 2-3 にレーダ機器の構成を示す。アンテナは回転しながら、電波を送信し、その反射を受信する。アンテナは約 2.5 秒で 360 ° 回転する。アンテナからケーブルを観測車に引き込み、レーダ画像取り込み装置(Windows PC)にて収録した。エコーデータの強度は画像の各画素の輝度値(0-255)として表現される。通常の観測は連続的に行い、2 秒毎にレーダ画像を PC に取り込んだ。1 時間の観測で 1800 枚のレーダ画像を取得する。写真 2-1 は、空中線(アンテナ、長さ約 2.8 m)を観測サイトに設置した状況を示す。

エコーデータは 2 秒毎にレーダデータサンプリングボードを用いて PC に収録した。エコーデータは 1024 × 1024 ピクセル、1 ピクセルあたり 256 階調の画像として記録した。1 ピクセルは約 5.425 m に相当し、輝度がレーダのエコー強度に対応している。毎正時からの 17 分間のレーダエコー画像を平均化した平均画像を収集し、汀線とバー

の位置の沿岸方向分布を読み取った。レーダの観測範囲は沿岸方向 5.6 km , 岸沖方向 2.8 km である。

本研究では 2006 年 1 月から 12 月の間に、毎時間に 1 枚の平気画像を処理し、蓄積した。図 2-4 に汀線形状、バー形状が複雑な状況にある場合、直線化した状況にある場合の平均画像を例示する。レーダ設置位置(画像中心)より遠方では、電波の減衰により、レーダエコー強度が低下している。

レーダデータを収録する PC はインターネットに接続し、遠隔操作によりデータの取得状況の確認、計測モードの変更操作などを行った。

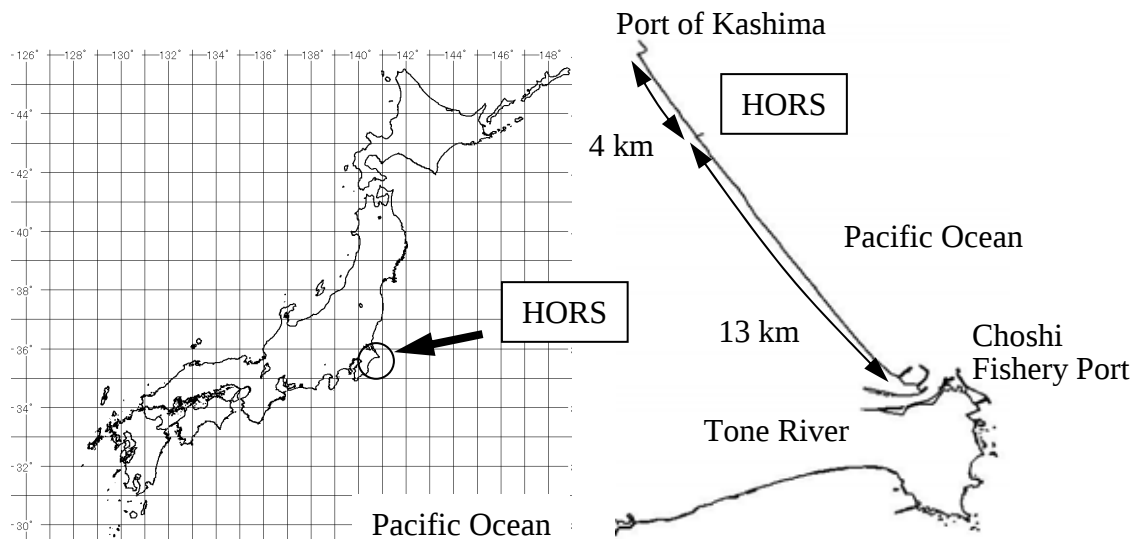


図2-1 観測栈橋HORS

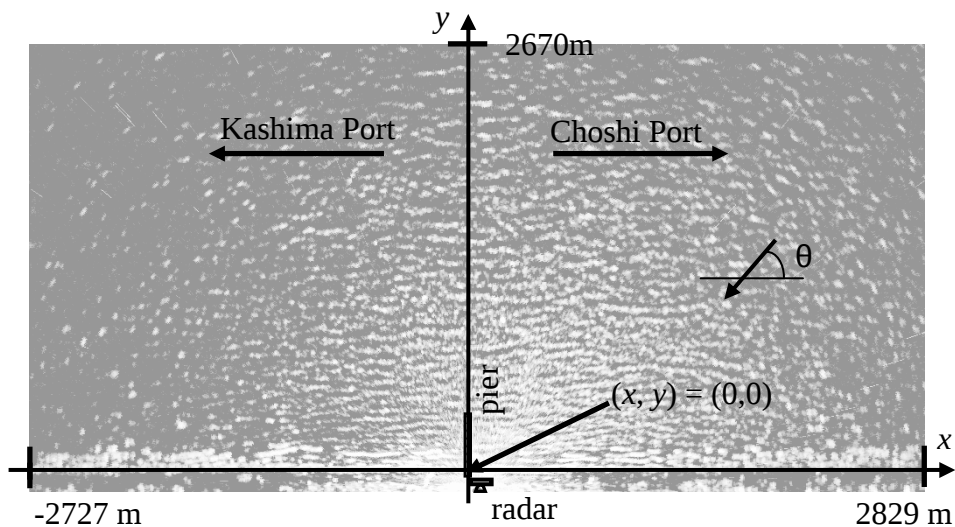
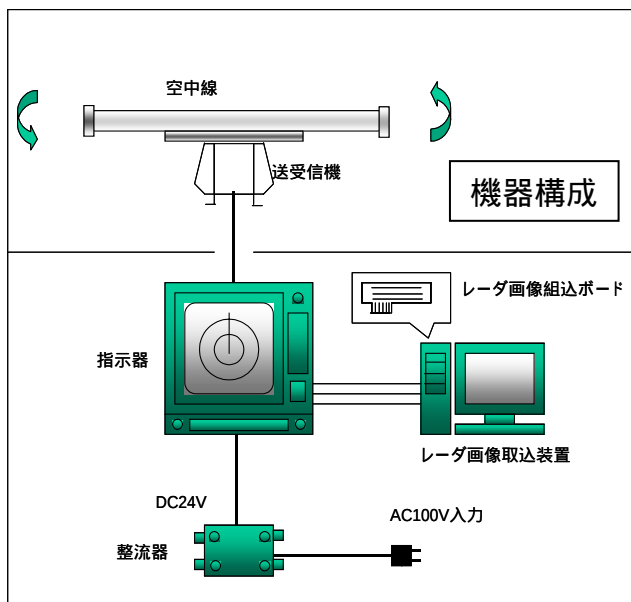


図2-2 レーダ画像と座標系



レーダ
設置状況



図2-3 Xバンドレーダ機器構成と設置状況

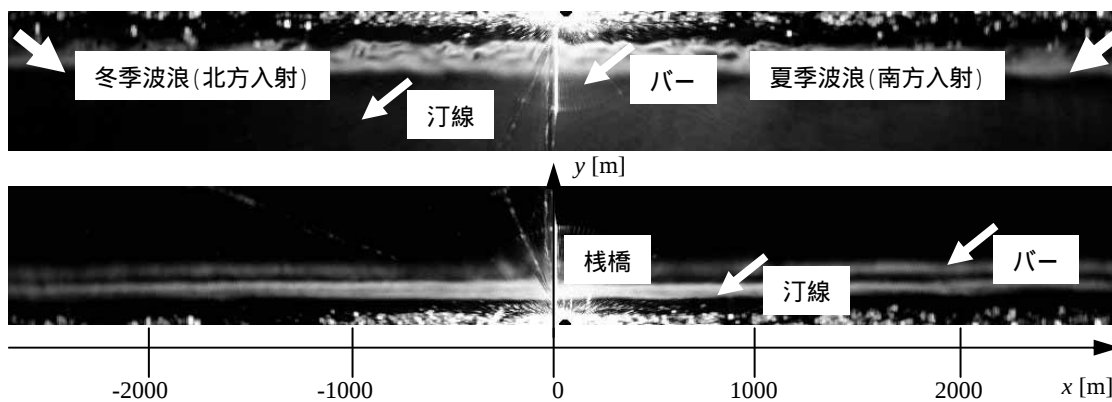


図2-4 レーダ画像の例
 [上] 静穏時, 複雑な海浜パターン
 [下] 荒天時, 単純化した海浜パターン

3. 年間を通じた観測結果

(1) 汀線位置・前浜地形の読み取りと海浜変形の概況

平均化した画像の各沿岸位置において、汀線の水平位置を定める。汀線付近の輝度値の岸沖分布を調べ、そのピークとなる点を汀線の水平位置とした。なお、これに先立ち、深浅測量の結果を用い、汀線の読み取り精度を確認した。

平均画像から汀線(D.L. = 0.8 mで定義)とバー位置を読み取り、平均位置、変動強度を定義して観測期間中の変化を調べた。以下にそれぞれの定義を示す。

$$\text{汀線平均位置} \quad \bar{Y}_s(t) = \frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} Y_s(t, x) dx \quad (1)$$

$$\text{汀線変動強度} \quad Y_{s'rms}(t) = \sqrt{\frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} (Y_s(t, x) - \bar{Y}_s(t))^2 dx} \quad (2)$$

ここで、 $Y_s(t, x)$ は毎時の汀線位置分布、 t は時間、 x は沿岸方向座標、 x_0 と x_1 は観測範囲の始点と終点である。

図 3-1 に鹿島港で観測された波高、 $\bar{Y}_s$ と $Y_{s'rms}$ の経時変化を示す。 $\bar{Y}_s$ は、入射波高が小さい夏季(6～9月)に沖側に移動し、入射波高が大きくなる時期(10月以降)に岸側に移動する季節的な変化があるように見える。入射波高が増加すると汀線の形状が単調化する、といういわゆるビーチサイクルみられた。すなわち、入射波浪が増加すると、 $Y_{s'rms}$ は直ちに応答して小さくなる(海岸地形が一様化する)傾向にあった。

図 3-2 には棧橋に沿って計測された断面地形から求めた汀線位置(D.L. = 0.8 mで定義)の年間の変化を示す。上に説明したレーダ観測より求まる平均汀線位置とほぼ同じ挙動を示す。

(2) 汀線とバー形状の沿岸方向移動

汀線形状の日々の変化を調べたところ、汀線付近に観られる波状の地形(波長のオーダー: 数 100 m)が沿岸方向に移動していることを確認した。図 3-3 に平均画像と潮位(銚子漁港, 気象庁観測)の情報から作成した前浜地形を例示する。同図には、波状のパターン(波長 ~ 350 m)がおおよそ 16 m/day の速さで -x 方向に移動していることが捉えられている。このような移動が、年間を通じて生じていることを確認した。

平均画像から汀線付近の沿岸方向の輝度分布を取り出し、それを経時的にスタックした画像を作成した(図 3-4)。この際、輝度を取り出す位置は各時間の潮位の情報を利用して変動させた。画像の上から下への縦方向が時間経過、横方向が沿岸方向である。同画像には、鹿島港で観測された有義波高 H_s 、有義波向 θ をあわせて示した。

図 3-4 中に現れる斜めのパターンは、汀線形状の沿岸方向移動に対応している。このパターンは、主に冬季(1 月, 2 月, 12 月)に右下方に延びており、汀線形状の移動は+x 方向にあることを意味する。一方、冬季以外の夏季を中心に、このパターンは左下方に延びており、汀線形状の移動は-x 方向にあった。これらは、栈橋で観測される沿岸流速の季節的な変動傾向に一致する。同図より、汀線の波形状が沿岸方向に移動していること、その移動方向が入射波浪の波下に向いていること、高波浪により海岸地形が一様化すると移動状況が不鮮明になること(例えば、7 月末)、高波浪により海岸地形が一様化しても沿岸方向移動が継続する場合があること(例えば、5 月末)等が読み取れる。

汀線形状の日平均移動速度 V_s を図 3-4 から読み取り、栈橋 ($y = 115$ m)で観測された沿岸流速 V_L との関係を調べたところ高い相関関係が認められた(図 3-5)。

汀線の沿岸方向移動を可視化したのと同じ方法で、バー形状の沿岸方向移動を調べるための処理を行った(図 3-4)。汀線形状の移動と類似の関係が、やや不鮮明であるが、バー形状の沿岸方向移動について認められる。なお、バーが存在していても潮位、波高の状況により、レーダで観測できない場合があることに注意が必要である。

図 3-4 に現れるパターンを詳しく比較したところ、汀線形状とバー形状の移動がほぼ同期していることが確認された。従って、バーの移動速度 V_B は、 V_s と同様、 V_L との間に相関があることになる。また、 V_s と V_B がほぼ同期していることは、汀線からバーの間の領域における砂移動に何らかの組織的な構造があり、これにより、汀線とバーの沿岸方向移動が維持されていることを示唆する。

(3) 汀線形状の移動メカニズムに関する検討

前節で示したように、汀線形状は沿岸方向に移動する。この移動を積算したものが砂の実質的な移動を反映したものになると考えられ、この特徴に着目して海浜変形を検討することが将来の課題である。ここでは、微地形に関する解析を行い、汀線形状の組織的な運動について検討する。

図 3-2 に示した、栈橋に沿った断面地形観測結果より求めた汀線位置には、2006 年 6 月 20 日頃より 7 月 10 日頃までの間にかなり規則的な変動が見られる。この期間を

対象にした解析を行い、地形変動とその結果見られる汀線位置の規則的な変化について説明する。

図3-6はこの期間の汀線付近の輝度を取り出したもので、波状形状の移動がほぼ持続的にあることが確認できる。同期間の波高はほぼ一定であり、波向の変化によりこの移動がもたらされている。栈橋に沿った地形を調べたところ、波状の変動は汀線付近の浅い領域に限られており、図3-6の下に模式的に示したような状況で地形の伝播があったと考えている。

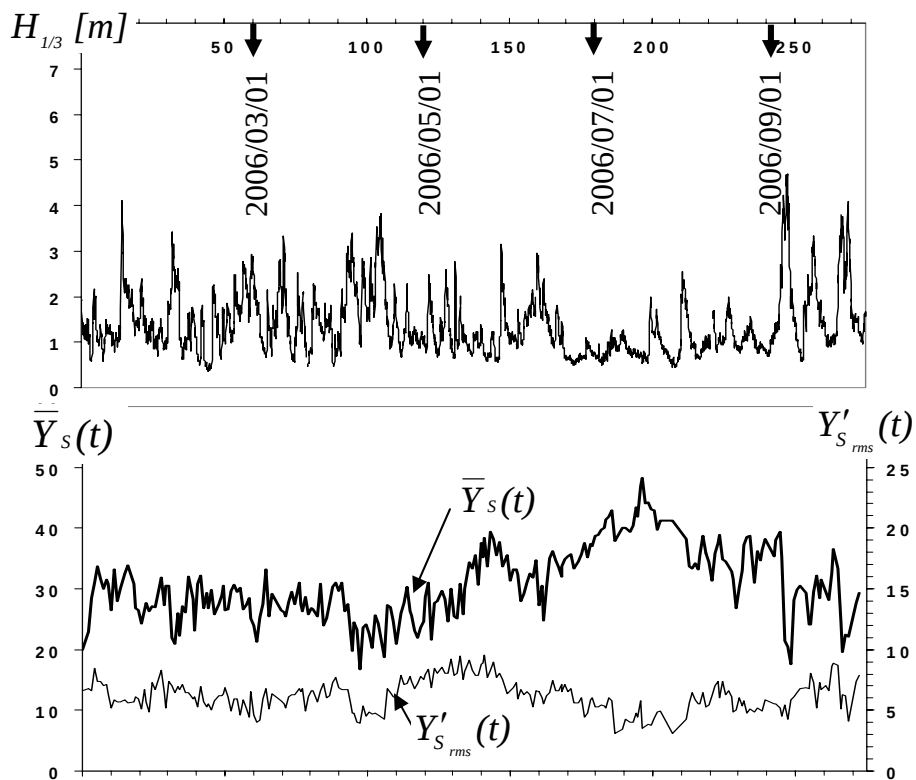


図3-1 有義波高と汀線平均位置・空間変動強度の経時変化(2006年)

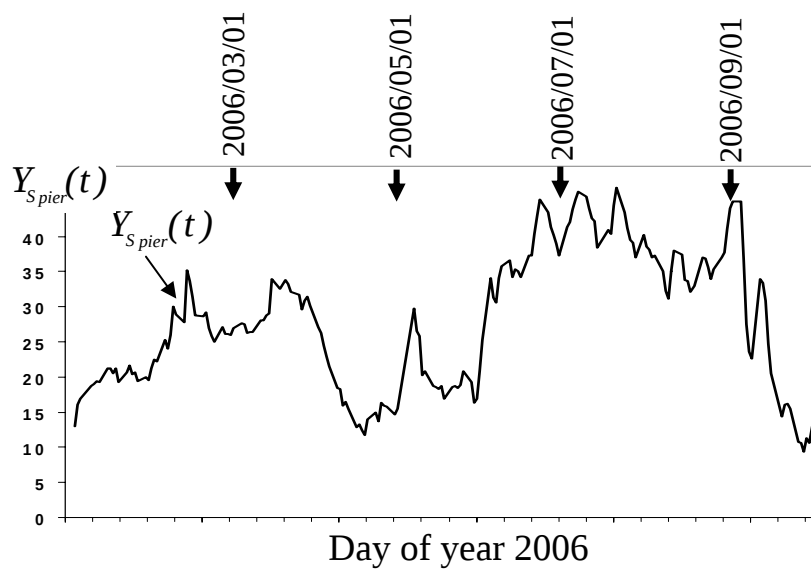


図3-2 観測栈橋における汀線位置(DL. 0.8 mで定義)の変化(2006年)

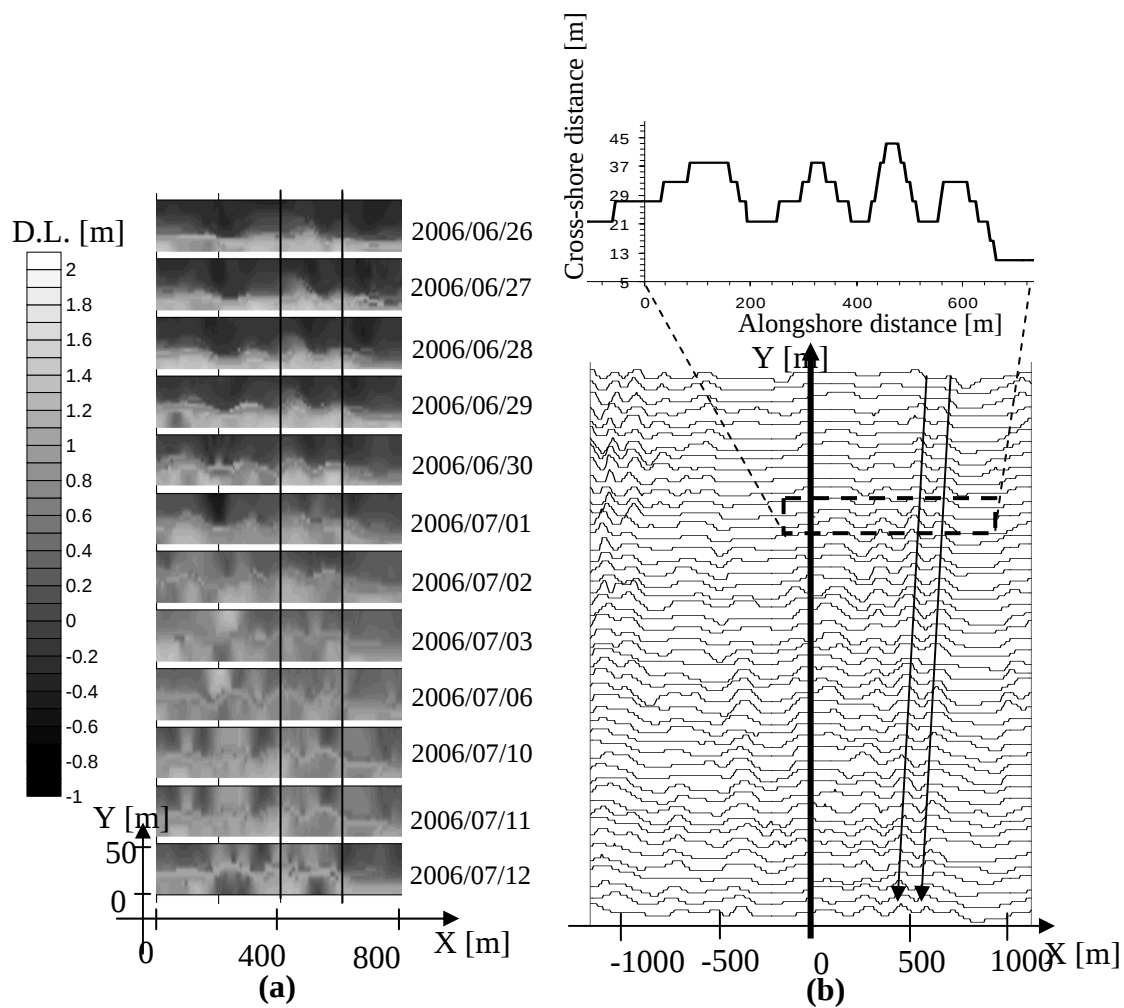


図3-3 前浜地形のマッピング例

左： マッピングのグレースケール表示．明部が標高の高い位置．波状のパターンが左方向に移動している．

右： マッピングの結果から汀線 (DL: 0.8m で定義) 位置を抽出．波状のパターンが沿岸方向に伝播し，これに伴い汀線位置が変動する．

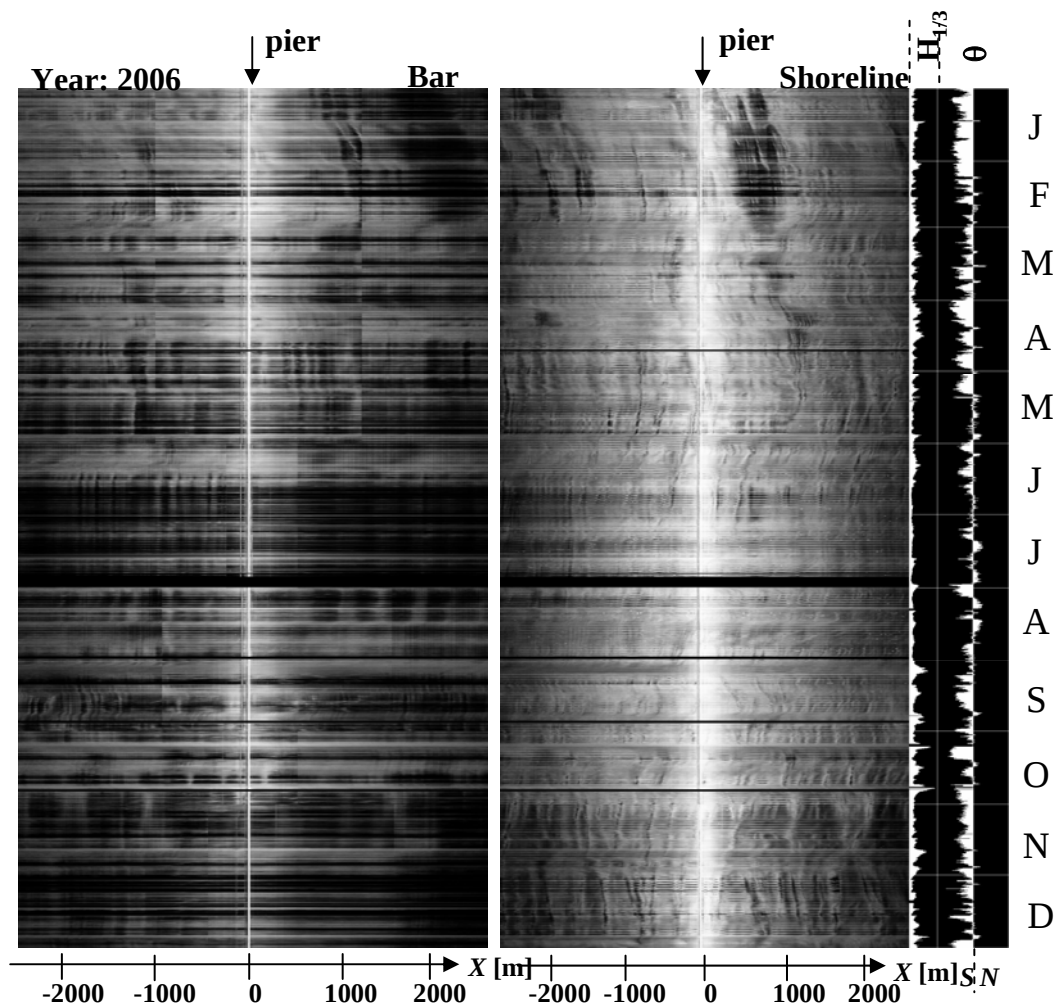


図3-4 汀線・バー位置の沿岸方向移動

左:バー付近の輝度データを抽出したもの, 右:汀線付近の輝度データを抽出したもの. 図右段:有義波高 H_s (フルスケール = 7 m)と入射波向 θ (N:北方からの入射, S:南方からの入射, 図2-2参照. 波向の表示が中心位置にある時は直角入射. 表示の長さが入射角に相当.)

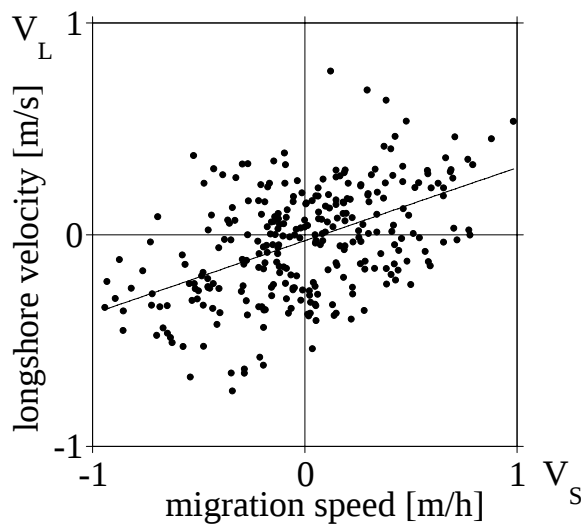
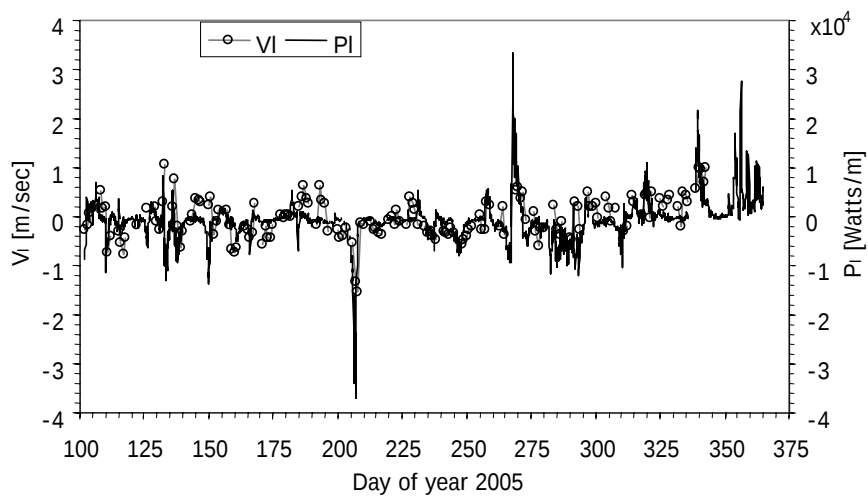


図3-5 汀線形状の移動速度と沿岸方向流速の関係

(上) 汀線形状の移動速度と沿岸方向流速の経時変化

(下) 汀線形状の移動速度と沿岸方向流速の相関関係

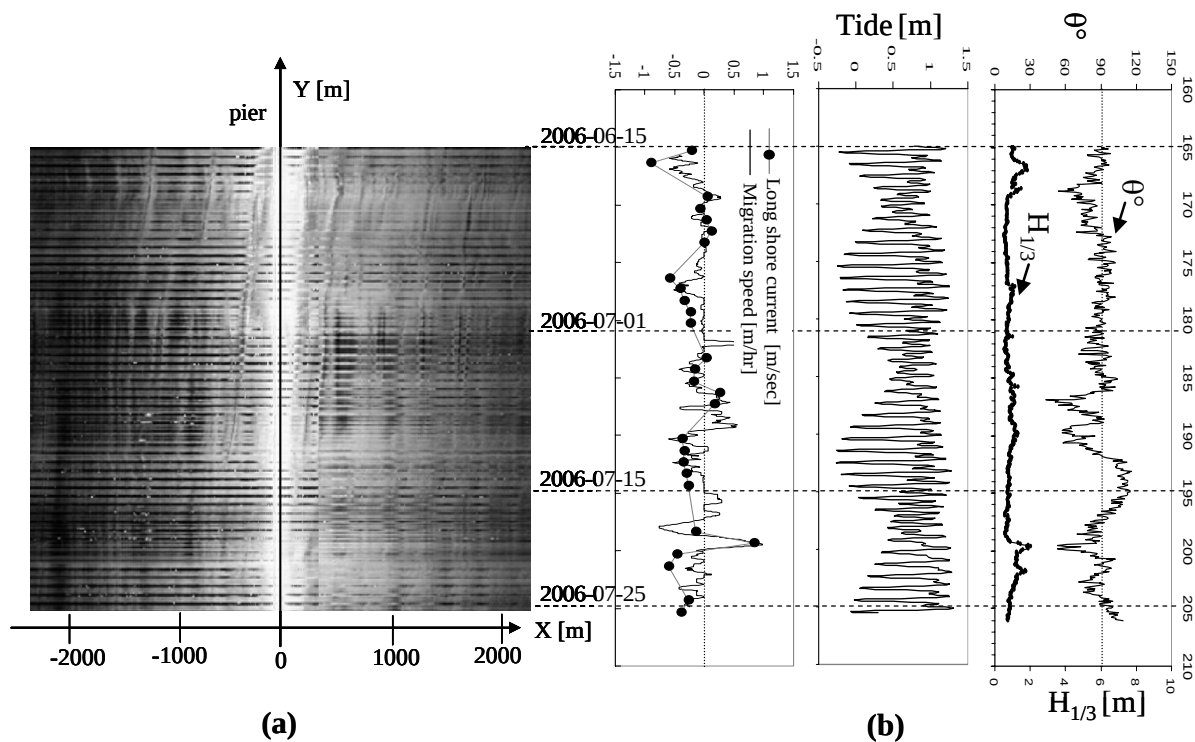


図3-6 汀線形状の沿岸方向移動に関する微地形解析

- (a) 汀線付近の輝度画像
- (b) 波状形状の移動速度, 潮汐・波高・波向の変化
- (c) 波状形状の移動模式的説明

4. 暴浪イベントによる大規模海岸侵食

2006 年 10 月に大型の低気圧が太平洋沿岸を通過し、既往最大の潮位上昇を伴う高波浪が来襲した。このイベントが発生するまでの数十年間は後浜と考えていた領域に大規模な侵食が見られ、鹿島灘南部ではこれまでに報告のなかった浜崖の発生が随所に見られた。ここでは、航空レーザ測量計測の結果と X バンドレーダ観測により取得された地形データを用い、波崎観測栈橋とその周辺の侵食状況の把握・プロセスを考察する。

(1) 2006 年 10 月に来襲した低気圧の概要

2006 年 10 月 6 日に関東南海上にあった低気圧は、台風 16 号から変わった熱帯的気圧から暖湿流を送り込まれたため、北側にあった冷氣との間で急速に発達し、東方海上をゆっくり北上した。この間に最低中心気圧 964 hPa を記録した。この低気圧により沿岸では暴浪と高潮に見舞われた。茨城県内の全海岸では、大洗港や鹿島港で最高潮位が過去最高を記録、大規模な護岸崩壊や離岸堤沈下が茨城県北端の磯原海岸から鹿嶋市の荒野海岸までの 12 の海岸で発生した。以上の構造物の被害に加え、各地の海岸で人工砂丘崩壊や大規模な砂浜侵食、越波による床上浸水、道路の通行止など、海岸線総延長が約 180km の茨城沿岸では全県的な高潮被害を受けた。極値統計解析の結果、今回の異常潮位は 71 年に 1 回に出現する確率の事象と評価された。

低気圧に吹き込む北よりの非常に強い風(銚子気象台の最大瞬間風速 37.4m/s)は、観測サイトのある鹿島灘に高波浪をもたらした。その結果、波崎海岸の砂浜では最近 20 年間の中で最大規模の侵食が生じた。また、銚子漁港で観測された最大潮位偏差は 0.86 m となり、既往最大の偏差と最高水位を記録した。この時に鹿島港で記録された有義波高はおよそ 6 m であり、波は北方から入射していた。観測サイト周辺の海象と気象の記録を図 4-1 に示す。

(2) 航空レーザ測量結果

航空レーザ測量は 2005 年 10 月と 2006 年 11 月に実施された。前者は国土地理院が沿岸地形の状況を調べるために実施した計測であり、後者は 2006 年の大規模な海岸侵食の状況を調べるために実施した計測である。ここでは、両者の比較から鹿島港から利根川河口にかけての侵食の概況を調べる。

図 4-2 に対象域の概略を示す。鹿島港南部の岸壁から利根川河口付近にかけての約 15 km の砂浜を解析対象とし、鹿島港から約 4 km の位置にある観測栈橋 HORS を原点とする座標系を設定した。海岸砂丘がほぼ全域にあり、HORS の南側約 4 km 地点より利根川河口にかけて 5 基のヘッドランドがある。2006 年 10 月 6 日と 24 日に大型の低気圧が太平洋を通過した。

図 4-3 は航空レーザ測量の結果を栈橋に沿って取得された地形データと比較したものである。航空レーザ測量の結果は砂浜の地形変動を議論するのに十分な精度がある。なお、航空レーザ計測は海面下のデータを取得することはできず、おおむね TP. 0 m よりも高い位置の前浜、後浜、海岸砂丘の地形が計測される。

観測栈橋 HORS に沿った断面地形の変化を調べたところ、およそ TP. 4m の高さまで侵食が認められた。過去の HORS における観測記録によれば、年に 1 回来襲する高波による地形変動が認められる限界の高さはおおよそ TP. 2.5 m であり、2006 年 10 月の高波浪では、後浜領域で波の作用による侵食があった。図 4-4 に、観測栈橋 HORS で取得された 2005 年と 2006 年の断面地形データから、各標高 (TP. = 0 m, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m) の岸沖位置を示す。この図より、TP. 0 m から TP. 2 m は波浪の作用により年間を通じて変動する領域にあり、TP. 3 m より高い位置はいわゆる後浜域に相当し、2006 年 10 月の高潮位・高波浪により TP. 5 m 付近まで地形変動があった。

図 4-5 に航空レーザ計測結果から読み取った 2005 年の汀線位置 (TP. 0.5 m で定義) と砂浜幅の沿岸分布を示す。ヘッドランドの位置では水際位置が海側に突き出している。

図 4-6 に TP. 0.5 m から TP. 5m の範囲の断面変化 (侵食) 量を調べた結果を示す。全般に北区間 ($-4000 < x < 3000$ m) における侵食が大きく、ヘッドランドが設置されている南区間 ($3000 < x < 11000$ m) で小さい。また、南区間の侵食量分布はヘッドランドの設置位置に支配された構造となっており、個々のヘッドランドの北側で侵食量が小さく、その南側で侵食量大きい。なお、対象域の全侵食量は約 600,000 m³ と見積られた。

図 4-7 に侵食量を TP. 0.5 m からある高さまで積算して求めた結果を示す。その結果、北区間と南区間では高さ別の侵食パターンに顕著な違いが見られた。南区間は元来より浜幅が狭く急勾配であること、海岸法線が北区間と異なることなどを高さ別侵食パターンの差異の原因と考えている。

侵食量分布には規則的な変動が見られる。これを調べるために、2005 年の航空レ

ーザ測量結果より、TP. 0 m から TP. 3 m の範囲の地形勾配を求め、同じ範囲の高さの侵食量と比較した(図 4-8)。次に、沿岸方向に移動平均幅 500 m で平滑化した平均勾配・侵食量を求め、それぞれの変動成分を調べた(図 4-8)。局所的に勾配の緩い位置における侵食量が大きく、逆に急な位置における侵食量は小さい。これは、相対的に緩勾配の領域では砂丘根本付近まで遡上が及び侵食量が大きかったのに対し、急勾配領域では砂丘海側の堆積域に浜崖が形成されたものの侵食量は小さかったと説明される。

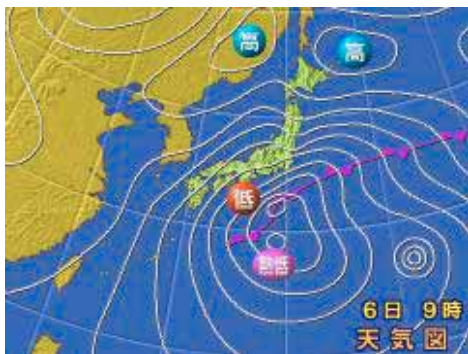
(3) X バンドレーダによる侵食プロセスの追跡

図 4-9 に、 $x = 673$ m における平均画像の岸沖方向輝度分布を取り出した結果を示す。2006 年 10 月に汀線位置が陸側にシフトしている様子が捉えられている。

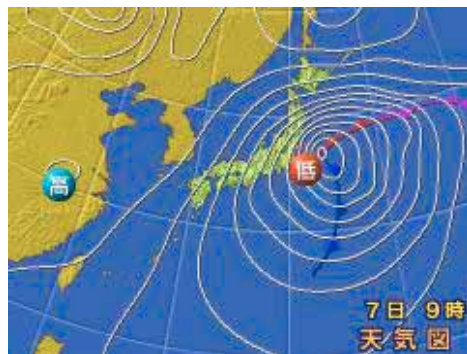
図 4-10 に高潮位時(2006 年 10 月 7 日 4 時、潮位 TP. 2.126 m)、低潮位時(2006 年 10 月 10 日 0 時、潮位 TP. 0.106 m)のレーダ画像を示す。潮位の上昇に伴い、観測範囲の全域に水位の上昇と遡上があったことが伺われる。

X バンドレーダ観測結果より、潮位が最高時の平均的な水際位置の沿岸分布を調べた結果を図 4-11 に示す。その分布には複数の極値が見られ、遡上が大きかった陸向に凸の位置には海岸背後集落からの排水口があり、海向に凸の位置には浜崖の形成があった。以上は先の図 4-8 に示した局所的な海浜勾配と侵食量の関係と整合する。なお、浜崖が形成されていなかった領域には砂面を固定する施工処理(人工砂丘の造成、堆砂垣の設置)があった。

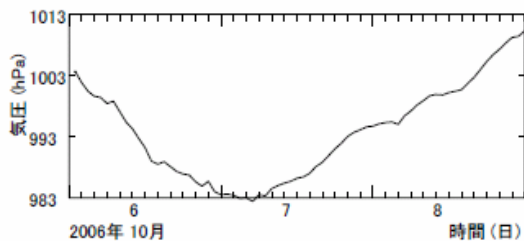
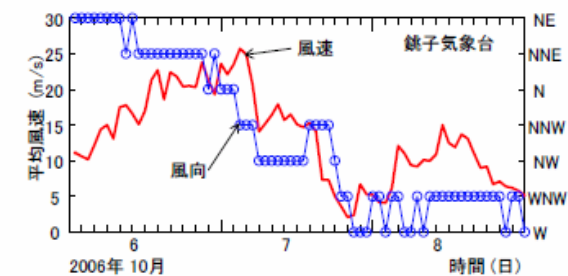
図 4-12 にはレーダ観測より求めた汀線変化量を示す。ほぼ全域的な侵食、すなわち、汀線の後退が見られる。しかしながら、一部の領域では汀線の前進域と後退域が規則的にあり、その理解は現時点で得られていない。



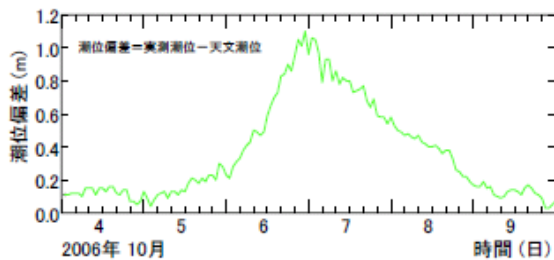
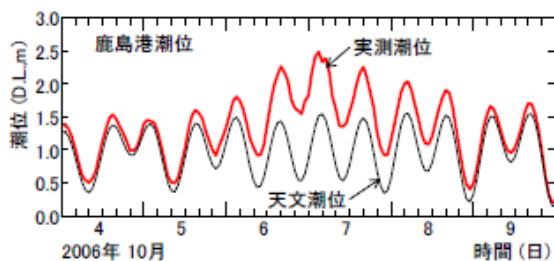
天気図 2006年10月6日



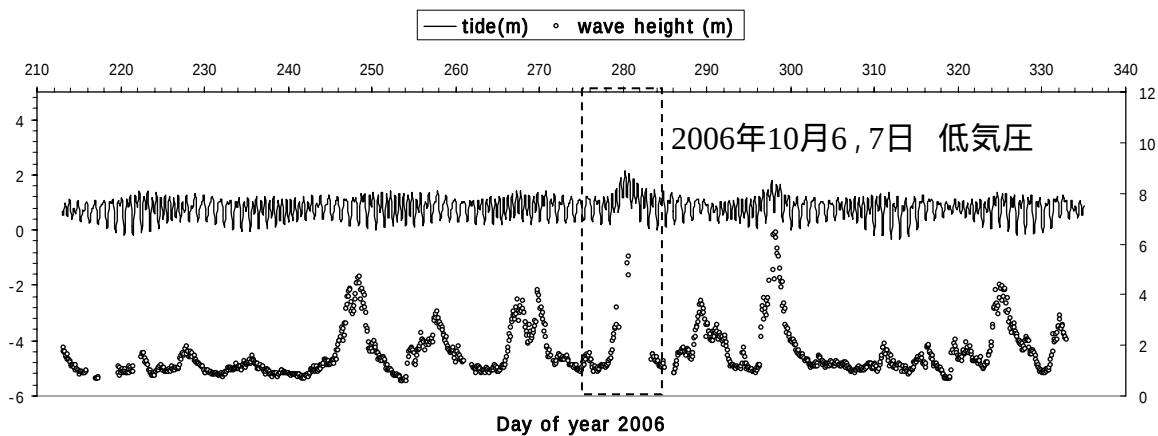
天気図 2006年10月7日



風速・風向・気圧の変化
(銚子気象台観測)



潮位と潮位偏差
(鹿島港観測)



潮位(上)と波高(下)の変化
(鹿島港観測)

図4-1 2006年10月低気圧通過に伴う気象と海象

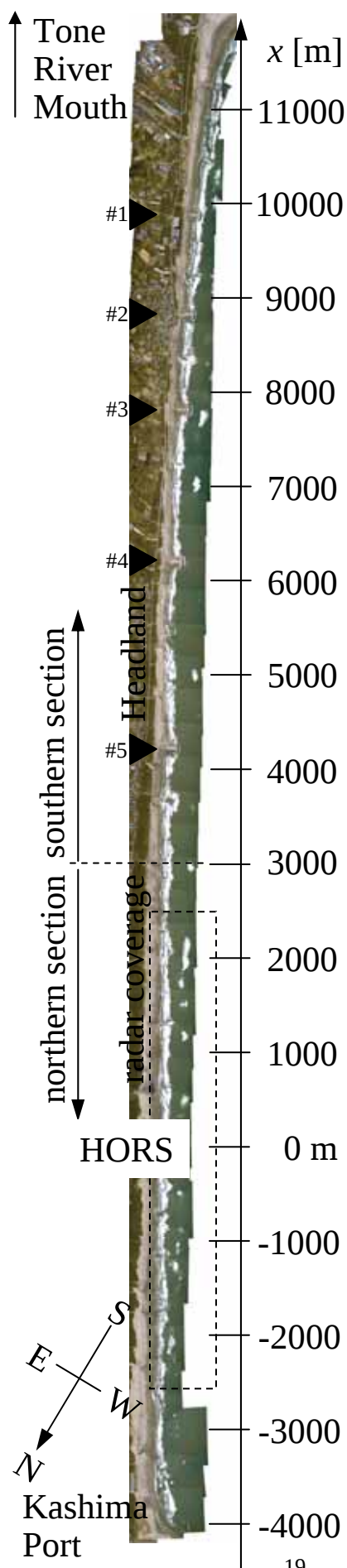


図4-2 観測対象領域と座標系

- ▼ ヘッドランド位置
- HORS 観測栈橋
- 点線枠 レーダ観測範囲

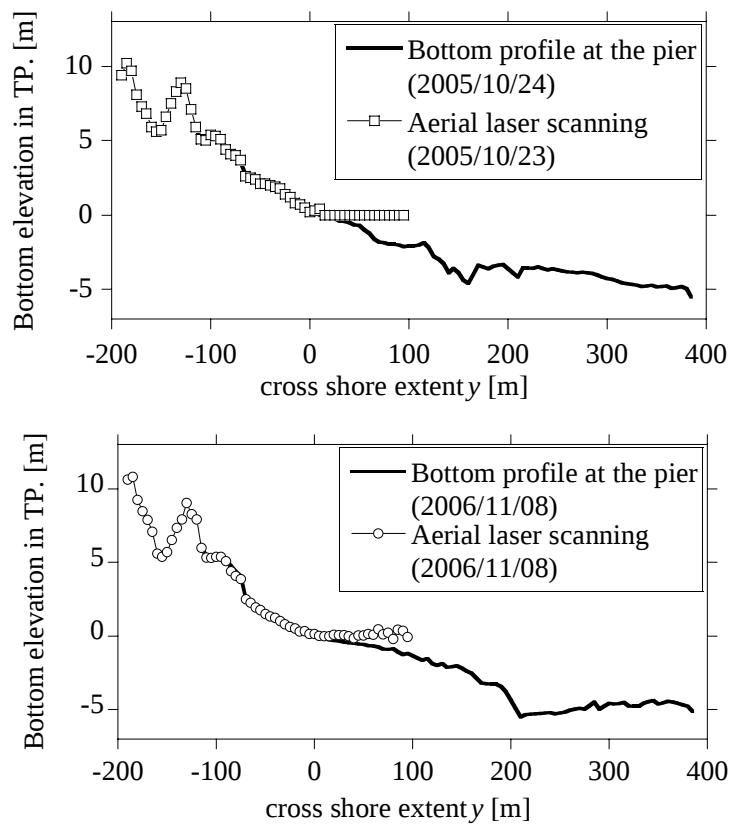


図4-3 航空レーザ測量結果と観測栈橋HORS断面地形の比較

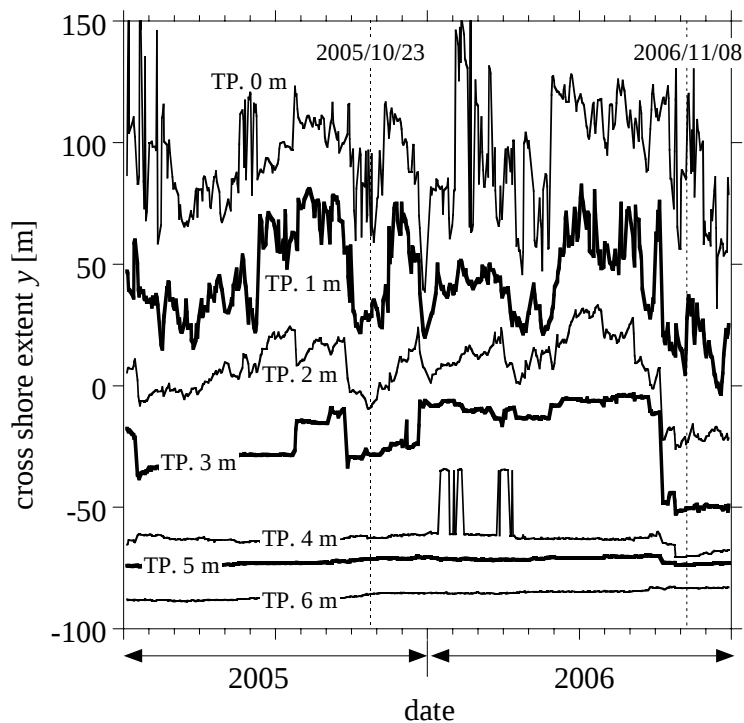


図4-4 観測栈橋HORSにおける各標高位置の岸沖位置の経時変化

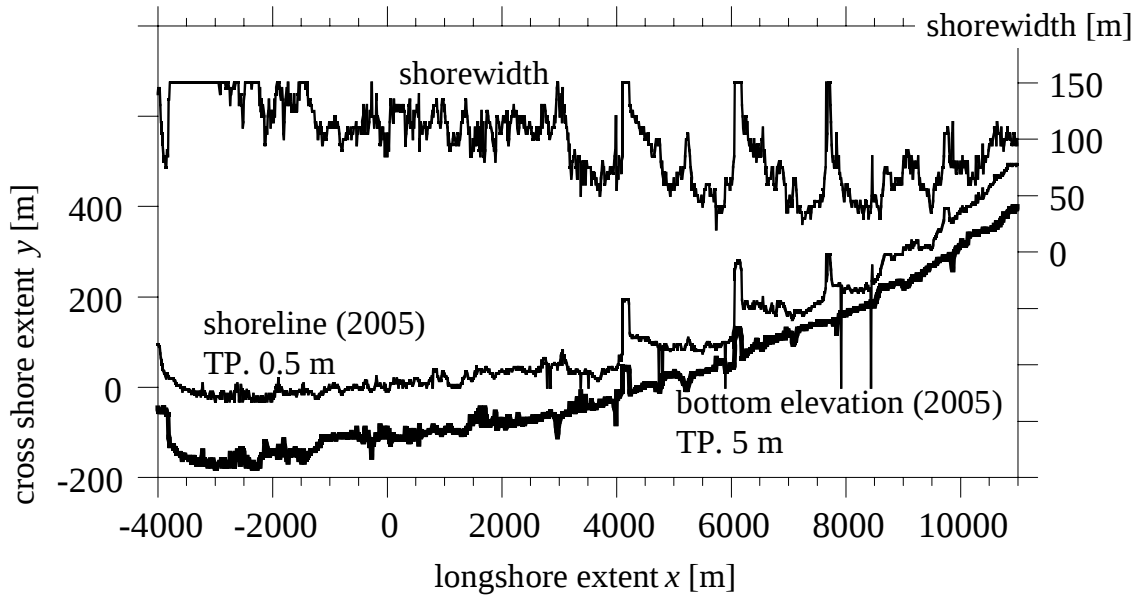


図4-5 汀線位置の沿岸分布

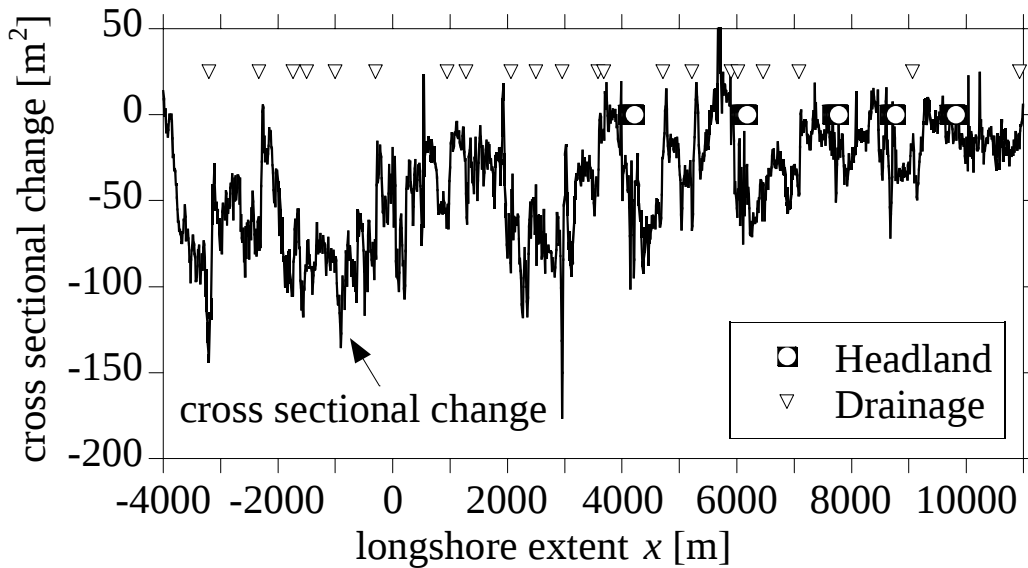


図4-6 TP. 5 mまでの断面変化(侵食)量の沿岸分布
 ■ ヘッドランド位置, 排水口位置

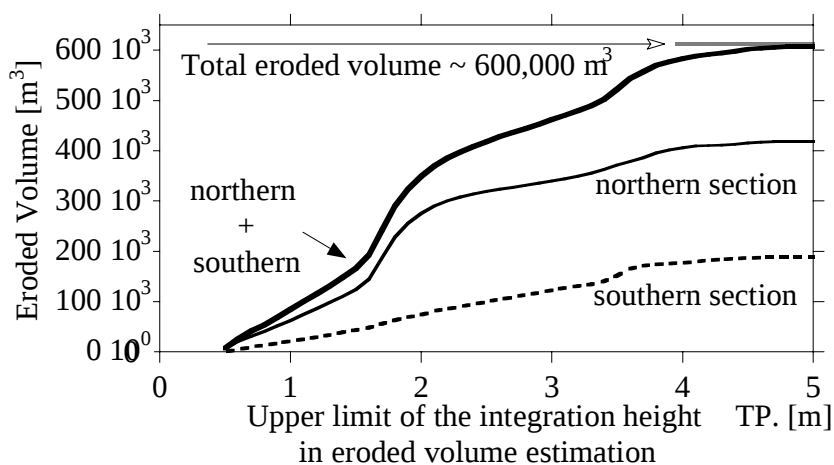


図4-7 積分上限高さ別の侵食量

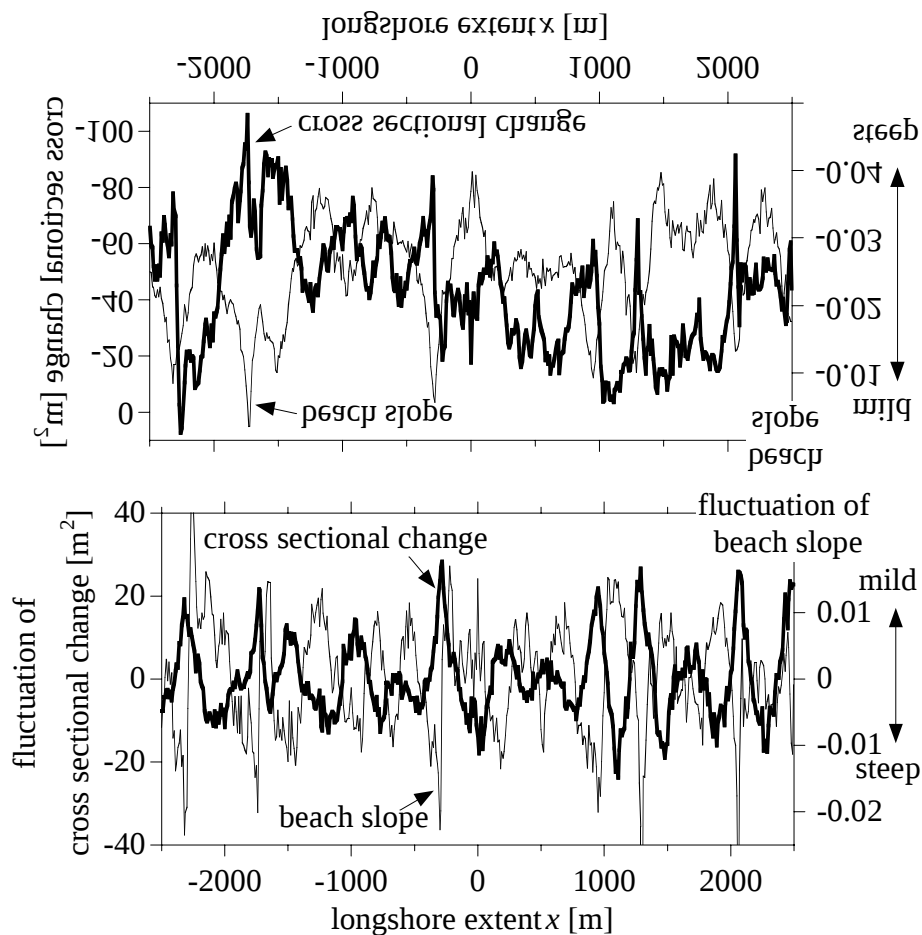


図4-8 [上] 北区間(レーダ観測範囲)の侵食量(TP. 0.5~3mの範囲)と海浜勾配の関係.
[下] 侵食量と海浜勾配変動成分.

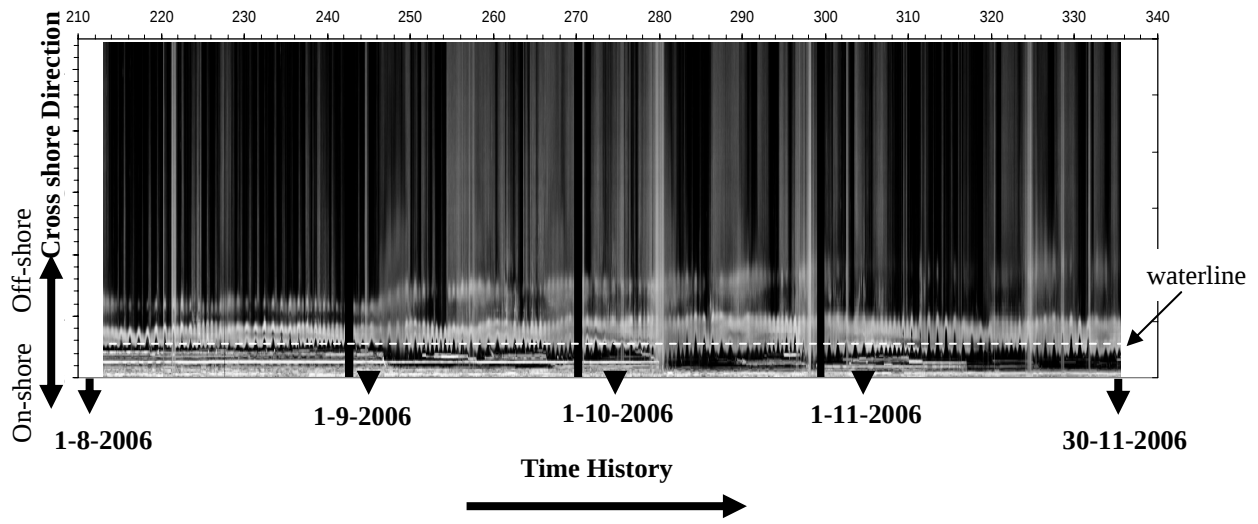


図4-9 レーダ観測により捉えた汀線位置の変化 ($x = 673$ m)

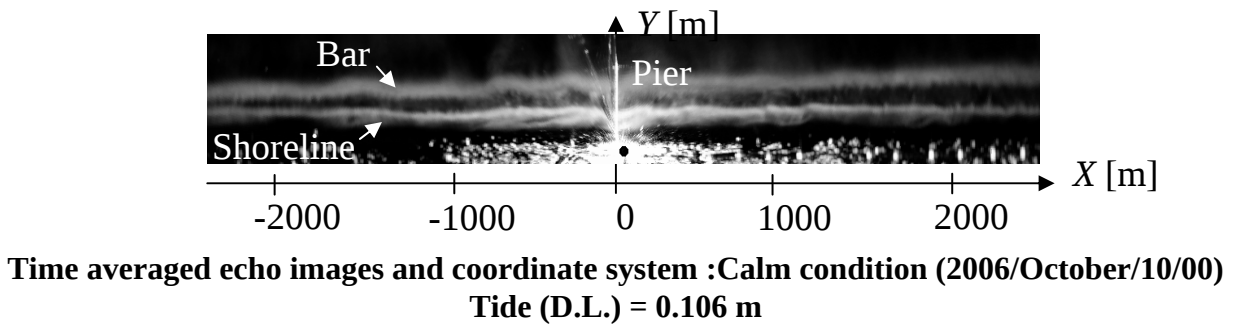
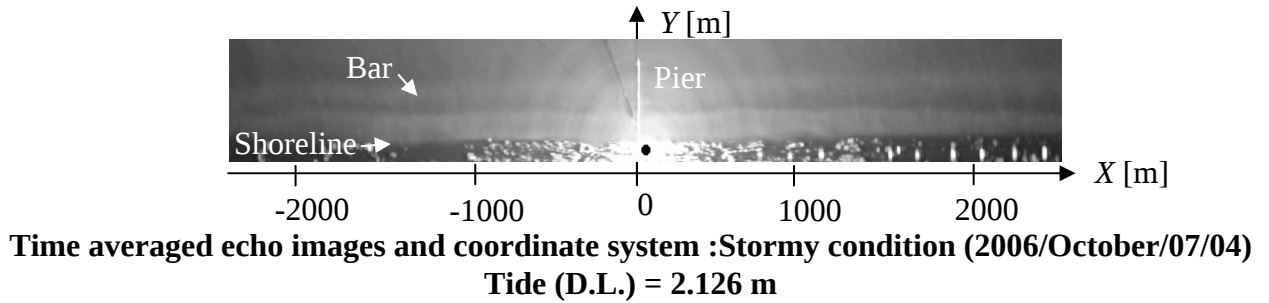


図4-10 高潮位時 (2006年10月7日4時, 潮位 TP. 2.126 m)と低潮位時 (2006年10月10日0時, 潮位 TP. 0.106 m)のレーダ平均画像

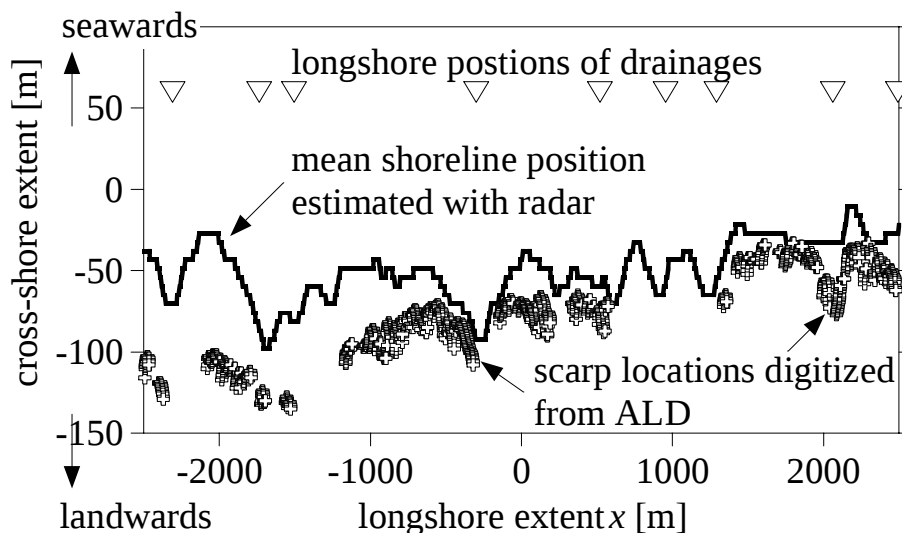


図4-11 レーダ観測(2006/10/07 04h)により推定された最高水位時の平均水際位置の分布と排水口・浜崖形成位置の関係

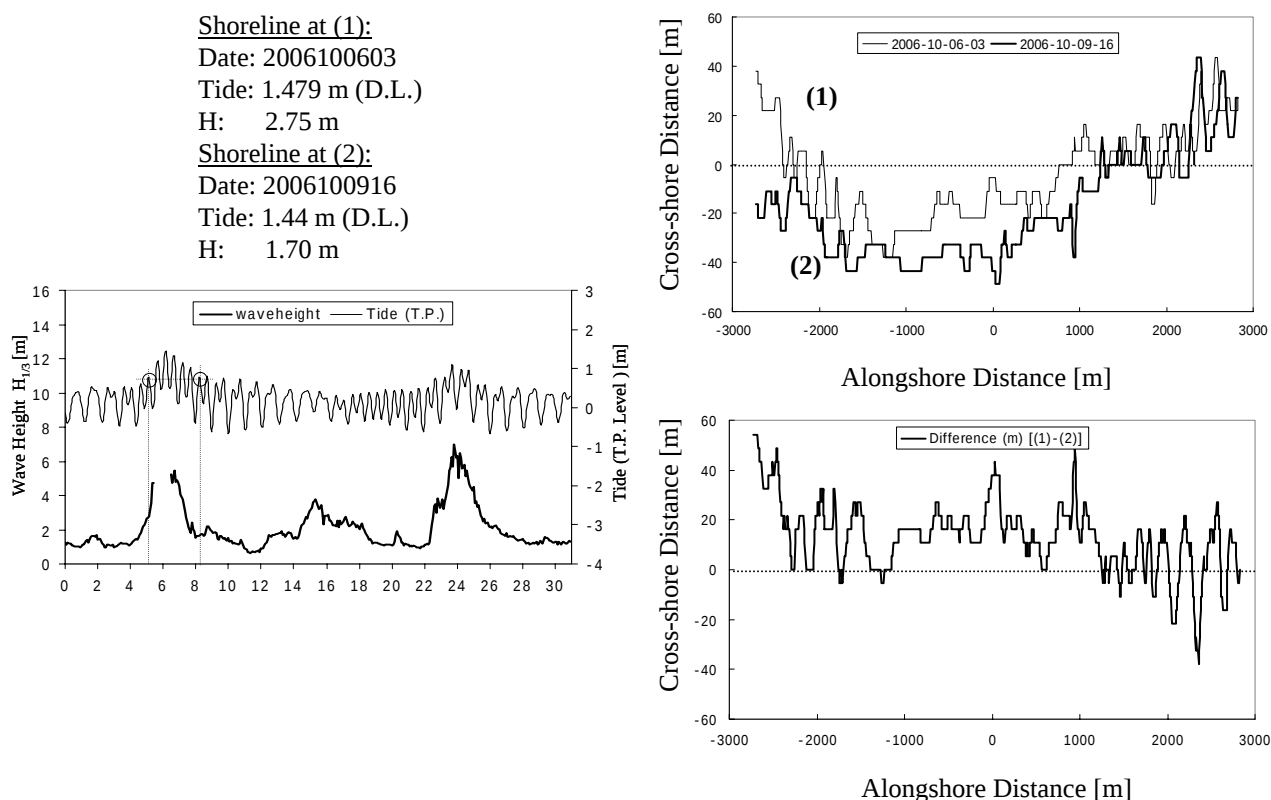


図4-12 レーダ観測により求めた汀線変化量
[左] 潮位と波高の変化
[右上] 高波浪前後の汀線位置
[右下] 汀線後退量(正の値 = 後退)

5. 研究のまとめと成果の応用

本研究の実施を通じて、X バンドレーダにより砂浜海岸の汀線位置、前浜地形を連続的に観測し、モニタリングすることについて具体的に方法と結果を示した。観測期間中の2006年10月には高波浪と既往最大の潮位上昇があり、観測域の全域的な侵食があった。これの実態を航空レーザ測量データとX バンドレーダを使用して説明した。

以下に各研究項目より得られた成果をまとめる：

○ 常時観測により得られた砂浜海岸の変動特性

- (1) 連続観測結果から、汀線位置の変動特性(平均位置、空間変動強度、沿岸方向移動)を解析し、静穏な状態が続くと海浜形状は複雑化し、荒天時にはこれが一様化される、いわゆるビーチサイクルを確認した。平均汀線位置は季節的に変化していたのに対して、汀線形状は入射波浪の大小に応じて変動していた。
- (2) 汀線形状の沿岸方向移動を調べ、波状形状が沿岸方向に移動すること、その移動方向が入射波浪の波下に向いていること、高波浪により海岸地形が一様化すると移動状況が不鮮明になること、高波浪により海岸地形が一様化しても沿岸方向移動が継続する場合があることなどを示した。
- (3) 汀線形状が沿岸方向に移動するメカニズムを説明するために地形変化の詳細を調べ、漂砂フラックス分布に関する基礎的な検討を行った。

○ 高波浪と水位上昇による海岸浸食の実態

- (1) 鹿島灘南部の後浜領域に、約 600,000 m³規模の全域的な侵食があった。
- (2) ヘッドランド設置区間と非設置の区間では侵食パターンが異なる。ヘッドランドは侵食パターンの構造を決定している。
- (3) 局所的な侵食量は局所的な勾配が緩い位置で大きかった。
- (4) 遡上量は排水口付近で大きく、浜崖が形成された位置では相対的に小さかった。

本研究の実施により、X バンドレーダにより海岸地形をモニタリングすることを具体的に方法と観測成果を示し、その可能性を示した。今後は、海岸管理者が実際に本手

法,あるいは,類似のシステムを導入して,海岸の状況を監視し,時に必要となる対応策を講じるといった経験を積むことが必要となる.ここで示した解析結果はいずれも海岸地形変動を理解するための学術的な観点から整理されたものであり,海岸管理に利用するにはやや難度が高い.よりブレイクダウンした指標を導き,過度に学術的でない観点からのデータ解釈が必要である.現時点では,観測対象域の平均汀線位置(例えば,図 4-9 に示した汀線位置の時間的变化の表示),汀線形状の複雑さ,前浜勾配などの経時変化をその候補と考えており,波崎海岸をサイトとするケーススタディを計画している.

研究成果（公表論文，公表予定論文）

- 1) Longshore migration of coastal features observed with X-band radar
Satoshi Takewaka, El Sayed Galal, Ryosuke Matsumoto, Shinya Sasakura
Coastal Sediments07, ASCE, New Orleans, 2007.（発表予定）
- 2) 高波浪と既往最大の潮位上昇による鹿島灘南部の 2006 年秋季海岸侵食
武若 聡, El Sayed Galal
土木学会海岸工学論文集, 第 54 巻, 2007 .(審査中)
- 3) Long-term dynamics of shoreline and bar migrations
El Sayed Galal, Satoshi Takewaka
Asian and Pacific Coasts 2007, 国際会議, 南京, 2007 .(審査中)